PNC TN8410 97−274

社内資料

本資料は　年　月　日付けで登録区分、
変更する。
2001. 6. 20
[技術情報室]

TLD測定値の信頼性の向上に関する検討(Ⅳ)

− ゼロ点線量の製造年度別差引補正の効果 −

1997年9月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184　茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

ⓒ 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

Ⓣ

社内資料
PNC TN8410 97-274
1997年9月

登録区分
2000. 6. 20
変更表示

TLD測定値の信頼性の向上に関する検討（Ⅳ）
― ゼロ点線量の製造年度別差引補正の効果 ―

辻村憲雄[1)]、森田卓[1)]、小松崎賢治[1)]、百瀬琢麿[1)]、篠原邦彦[1)]

要旨

平成8年度に実施したTLDバッジ用のTLD線量計のゼロ点線量検査の結果を基に、購入年度毎にゼロ点線量の平均値、分布の幅、合格割合等を詳細に調べた。その結果、TLDバッジの実運用を開始した昭和57～59年度に購入したTLD線量計のホウ酸リチウムTLDの平均ゼロ点線量の値は25～40μSv相当程度、平成8年度に新規購入したホウ酸リチウムTLDについては10μSv相当を超えない程度であることが分かった。

この結果を基に、製造年度別にゼロ点線量差引補正値を定め測定値に適用した場合と製造年度に関係なく一律のゼロ点線量差引補正値を適用した場合とで、低線量域における線量評価値の評価精度を比較した。その結果、製造年度別に適切な補正をすることで、製造年度間のゼロ点線量の相違に関係なく低線量域における線量評価値の一様性が向上した。

1）安全管理部 安全対策課

目次

第1章　緒言 …… 1
第2章　ゼロ点線量検査の方法 …… 2
2－1　ゼロ点線量の定義と影響 …… 2
2－2　ゼロ点線量試験の方法と合格基準 …… 6
第3章　ゼロ点線量検査の結果 …… 7
第4章　ゼロ点線量の製造年度別差引補正の効果 …… 16
4－1　実験方法 …… 16
4－2　実験結果 …… 17
4－3　ゼロ点線量のリーダー機種依存性 …… 25
第5章　まとめ …… 28
参考文献 …… 29

第1章　緒言

TLD素子を再生処理（アニール）し、すぐに発光量を測定しても測定値はゼロになるわけではなく、また繰り返しアニールして測定しても測定値はある値に収束する。この値は、「ゼロ点線量」あるいは「ゼロ照射指示値」等と呼ばれ、TLD素子や周囲の構成材の昇温による熱輻射信号と光電子増倍管に固有の暗電流による雑音の信号等である。

ゼロ点線量は、放射線によるTLDの測定信号が大きい場合には無視できる程度の値であるが、TLDの測定信号が小さい場合には相対的に大きくなるため、被ばく線量当量を評価する際の誤差要因となる。そのため、動燃事業団では保有する全てのTLD線量計についてゼロ点線量の定期的な検査を実施し、あるレベルを超えたTLDを除外しているが[1]、近年、このゼロ点線量検査で不合格となるTLD数が徐々に増える傾向にある[2]。ゼロ点線量検査は年に一回の頻度で行われているが、その測定データはこれまでコンピューター管理されておらず、プリンターに打ち出された数値を目視で確認するという方法が採られてきた。そのため、大規模な統計処理ができず、TLD素子毎のゼロ点線量の平均値やその分布形状、及び使用履歴との関連性等に関する正確な情報はこれまで得られていない。

本報告書は、平成8年4月から実務適用試験を開始した「グロー曲線解析システム」[3]によって取得されたTLDのゼロ点線量検査の結果を利用し、現状でのTLD素子毎のゼロ点線量の平均値やその分布形状を調査した結果をとりまとめた成果である。取得されたデータは、平成8年度に実施したゼロ点線量検査の結果の一部で、TLDバッジに使用するTLD線量計の保有総数約13,000個の一割程度であるが、TLDバッジの実運用を開始した昭和57年度に購入したものから平成8年度に新規購入したものまでが含まれており、全体の傾向を大まかに推測する手がかりになる。また、この結果を基に、製造年度別にゼロ点線量差引補正値を定め測定値に適用した場合と製造年度に関係なく一律のゼロ点線量差引補正値を適用した場合とで、低線量域における線量評価値の評価精度を比較し、TLDの製造年度に応じた適切なゼロ点線量の自動補正方法の実務適用について検討した。

第２章　ゼロ点線量検査の方法

２－１　ゼロ点線量の定義と影響

（１）ゼロ点線量の定義

JIS Z4320-1995「熱ルミネセンス線量計測装置」[4]によると、TLDの「残線量」の定義として次のように記載されている。

「残線量は、再生処理の方法に大きく依存する。例えば、線量計が熱ルミネセンス物質だけで構成される場合には、線量計を炉を用いて最良の温度条件で再生処理することができる。未照射の状態まで減少させた残線量をゼロ照射指示値又はゼロ照射評価値と呼ぶことがある。

一方、線量計の構造上又は時間的な制約等によって、最良の温度条件での再生処理ができない場合がある。このようなときは、多くの場合リーダーによって再生処理を行うが、このときの残線量は一般にゼロ照射指示値やゼロ照射評価値よりも大きいことがある。この規格で定義する残線量は、対象の熱ルミネセンス線量計測装置（付属機器として熱処理炉がある場合にはこれも含む）で可能な最良の条件で再生処理を行った場合の残線量とする。ここに、最良の条件は製造業者が取扱説明書に記載した条件である。

なお、残線量は一般に小さな値であるので、その測定に当たっては、リーダーのバックグラウンドを差し引いて誤差を低減することが望ましい。」

TLDバッジで使用するUD-808P線量計及びUD-809P線量計の場合、再生処理（アニール）は測定と同様に専用の読取り装置（TLD自動リーダー、UD-7100P型）で行われる。この装置の場合、指リング線量計のアニールに使用する専用アニール炉等とは異なり必ずしも最良の条件でTLDをアニールしているわけではないが、アニールを十分に繰り返しある一定値まで減少させた状態での測定値を「ゼロ点線量」、昇温不足等の理由により初回の測定で得られるべき信号の一部が二回目の測定でも得られるような場合を「残線量」と呼称し区別している。

表２－１に、TLDのゼロ点線量の要因の内訳をまとめた。UD-7100P型リーダーの場合、光電子増倍管等による雑音信号については測定時に自動的に差し引き計算されるので、測定される「ゼロ点線量」とは、熱輻射による雑音信号と、過去に大線量の曝射を受け主ピークよりも高温側の捕獲中心（トラップ）に蓄積した電子がその後で少しづつ放出されることによる熱蛍光信号である。個人被ばく管理に使用するTLDが大線量の曝射を受けることはほとんどないので[注1)]、前者の熱輻射による雑音信号がゼロ点線量の主要因であり、ホウ酸リチウム系のTLD素子の場合は適正な加熱状態でも10～25 μSv[注2)]程度の値が得られる。また、経験的には使用年数が長いものほどゼロ点線量の値が大きいことが判明している。

表２－１　TLDのゼロ点線量の要因の内訳

光電子増倍管等の雑音	・ほぼ一定
熱輻射に伴う雑音	・ほぼ一定であるが、経年変化に応じて次第に大きくなる。（主にLi2B4O7(Cu)、吸湿によるものと考えられる。） ・リーダーの加熱状態の強弱に依存する。加熱状態が弱い場合と熱輻射信号が小さくなる。
高温側のトラップに蓄積した熱蛍光信号	・過去に大線量の曝射を受けた場合、ゼロ点線量が大きくなる。（主にCaSO4(Tm)、リーダーが昇温不足のため）

（２）ゼロ点線量の影響

十分にアニールしたTLDを測定した際に得られるゼロ点線量は、線量が十分に高い場合は無視できる程度の値であるが、線量が低い場合は測定値の比例性を悪くする原因になる。図２－１に、松下産業機器株式会社が実施したUD-808P線量計（ホウ酸リチウムTLD）の比例性試験の結果を示す。図は、ゼロ点線量も含めた合計の読取り値を照射した線量で除したものと、読取り値から平均ゼロ点線量（37 μSv）を一律に差し引いた値を照射した線量で除したものの比較である。図からも明らかなように、ゼロ点線量の差引補正をしない条件では低線量域で比例性が低下していることが分かる。

ゼロ点線量による線量評価精度への影響を低減するための方法としては、次のようなものがある。

(1) ゼロ点線量を十分小さくなるまでアニールして無視する

(2) 十分アニールしてもある程度の決まったゼロ点線量がある場合には、その平均値を読取り値から一律に差し引く

(3) 個々のTLD毎にゼロ点線量の大小を記録しておき、読取り値から差し引く

東海事業所では、現在、硫酸カルシウムTLDについては(1)、ホウ酸リチウム系TLDについては(2)の方法を採用している。(2)の方法の際に差し引きする平均ゼロ点線量の値は、過去の試験結果等から経験的に定めたものであり、25 μSv（2.5mR相当）としている。また、(3)の方法についてはHarshaw社製のTLD 700（蛍光体は^{7}LiF）に適用した例があり[5]、0.8～200 μSvの範囲でばらついているゼロ点線量をそれぞれのTLD毎に差引補正することで平均約 3 μSvまで小さくなると報告している（図２－２参照）。LiFの細かい粉をチップ上に固めたTLDであるTLD 700は、不純物の混入によって僅かに着色される等の場合があり、それがTLD毎の固有のゼロ点線量の要因になっている。

注1）繰り返し照射を受けたTLD素子のその履歴によっては同様な現象が生じる。

注2）^{nat}Li2B4O7(Cu)の場合。適正な加熱状態であるが故に10～25 μSvの値が出るとも言える。

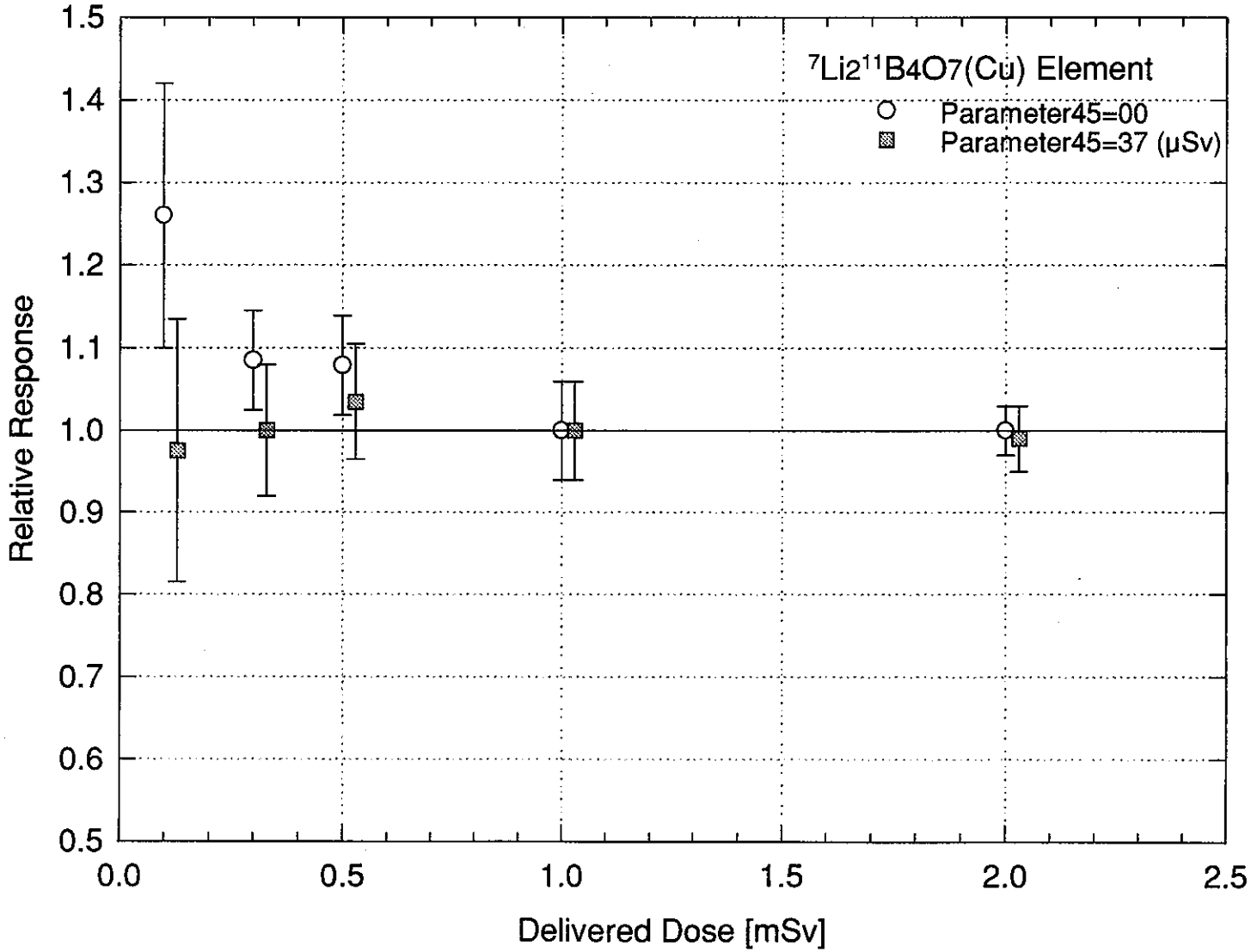

図2－1　ホウ酸リチウムTLDの比例性試験の結果
（○ゼロ点線量差引補正せず、■ゼロ点線量（37μSv）を一律補正）

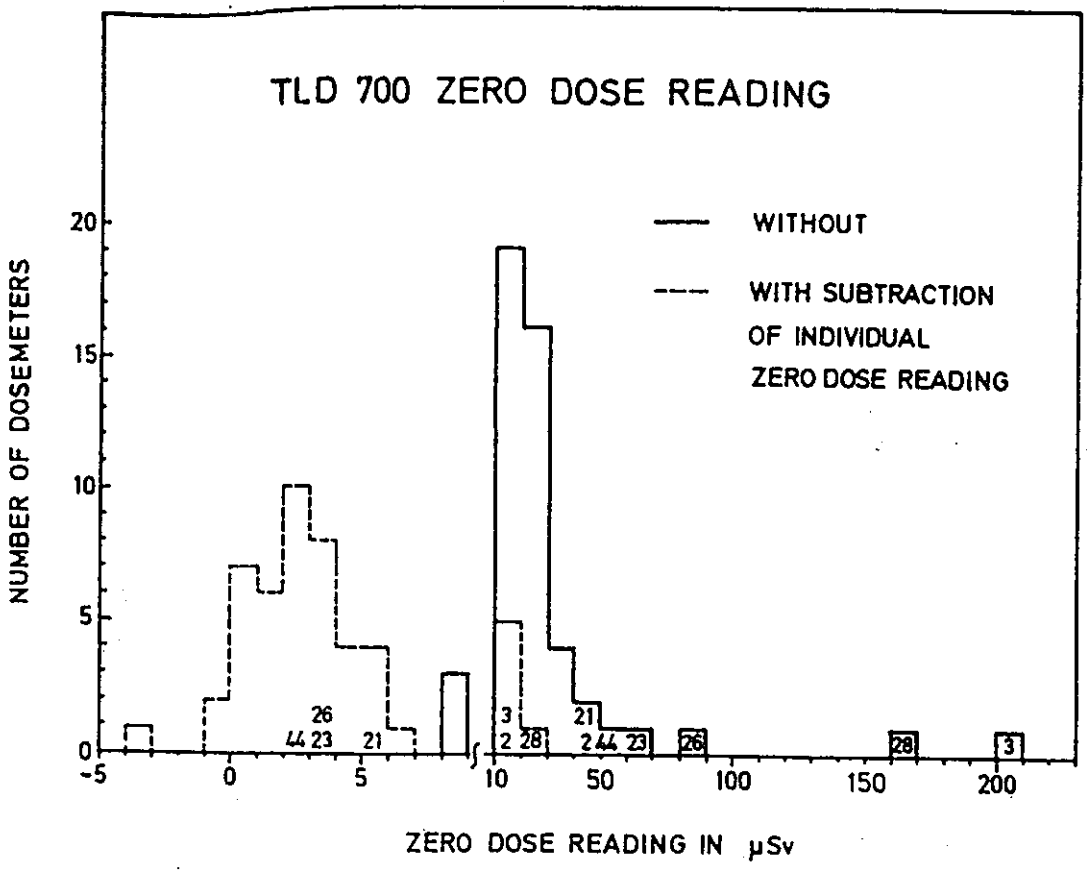

図２－２　Harshaw社製TLD700のゼロ点線量差引補正の例[5]

２－２　ゼロ点線量検査の方法と合格基準

個人被ばく管理に使用しているTLD線量計のゼロ点線量検査は、購入時及び年一回の頻度で実施されている。通常の手順では、同時期に実施する感度検査の前にゼロ点線量検査を行う。主リーダーである自動リーダー１号機を用いて検査の前に数回程度アニールし、ホウ酸リチウム系TLDのゼロ点線量補正のための基準値"0025"（パラメーター45、"0025"は25μSvを意味する）を"0000"に変更した後、ゼロ点線量を測定する。ゼロ線量検査の方法と合格基準を表２-２に示す。

なお、一回のゼロ点線量検査で合格しないものについては、合格基準に達するまで繰り返し測定し（最大の繰り返し回数は決まっていない）、それでも合格基準を満たさないものについては廃棄する。

表２－２　ゼロ点線量検査の方法と合格基準[1]

実施内容・方法		実施頻度
購入時	アニール後、TLD素子の発光量が以下の基準であることを確認する*。	購入時
定期検査	CaSO4(Tm)　10μSv以下 Li2B4O7(Cu)　50μSv以下	年一回

* TLD自動ﾘｰﾀﾞｰのﾊﾟﾗﾒｰﾀｰ45を"0000"(通常は"0025")に設定し、ｵﾌﾗｲﾝでﾌﾟﾘﾝﾀｰに出力する。

現在のゼロ点線量検査では、測定データのパソコンへの取り込みはなされておらず、リーダーに接続したプリンターに測定値をそのまま打ち出し、目視で確認していくという手法が取られている。TLD線量計の保有総数13,000個、エレメント数にして約50,000個のデータの目視による確認作業は膨大な手間と時間を要する上、大規模な統計処理ができないため保有するTLD全数についてのゼロ点線量の平均値、分布等は良く分かっておらず、ホウ酸リチウムTLDのゼロ点線量の差引補正のため設定している値（25μSv）が適切な数値であるかどうかについての定期的な確認は実施されていない。

第３章　ゼロ点線量検査の結果

平成８年度に実施したゼロ点線量検査のデータの一部が、平成８年４月から実務適用試験を開始した「グロー曲線解析システム」[3]によって取得され、データベース注3)に記録された。記録されたデータは、TLD線量計数にして 1,200個（β/γ線用 UD-808P 650個、中性子線用 UD-809P 550個）、TLDバッジに使用するTLD線量計の保有総数約13,000個の一割程度であるが、TLDバッジの実運用を開始した昭和57年度に購入したものから平成８年度に新規購入したものまでが含まれている。現在保有しているTLD線量計は、昭和57～59年度に購入したもの（全体の約90%）と平成５年度以降に購入したもの（同、約10%）から構成されているので、抽出したTLDは全体をほぼ代表している。

ｸﾞﾙｰﾌﾟ	購入年度	UD-808P	UD-809P	検査日
A	昭和57～59年度	500個	-	96/ 5/15
B	昭和57年度	-	400個	96/ 5/23
C	平成８年度	150個	150個	96/10/23

（１）ゼロ点線量分布

グループA～Cのゼロ点線量検査で得られた平均ゼロ点線量を表３－１に示す。また、グループA、Bについてのゼロ点線量の頻度分布を図３－１、図３－２に示す。一回の検査で合格基準に満たない線量計については、繰り返しの検査を行っているので、そのような線量計については繰り返し測定した回数分の平均値を代表値とし、分布を求めた。

グループA、Bの$^{7}Li_{2}{}^{11}B_{4}O_{7}(Cu)$のゼロ点線量の平均値は、現在自動リーダーに設定しているゼロ点線量の差引補正値（25μSv）とほぼ同程度の値であった。しかし、グループBの $^{6}Li_{2}{}^{10}B_{4}O_{7}(Cu)$については、$^{7}Li_{2}{}^{11}B_{4}O_{7}(Cu)$に比べてゼロ点線量が高く、従って現在のゼロ点線量の差引補正値はやや過小である。一方、平成８年度に新規購入したグループCのTLD線量計については、全種類のTLD共にゼロ点線量の値が極めて小さいという結果が得られた。ゼロ点線量検査に使用した自動リーダーの月例点検記録[6]から、ゼロ点線量検査を実施した期間を通じてリーダーの加熱状態は概ね一定であることが確認されており、グループA、Bとグループ Cの検査の条件に変化はない。従って、グループCの$^{7}Li_{2}{}^{11}B_{4}O_{7}(Cu)$、$^{6}Li_{2}{}^{10}B_{4}O_{7}(Cu)$については、CaSO4(Tm)同様に本来であればゼロ点線量の差引補正の必要がないレベルである。

注3) Microsoft Accessを利用

また、今回のゼロ点線量検査で得られた結果のうち、表2－1に示したゼロ点線量の合格基準に達したもののみの平均値を求めた結果を表3－2に示す。TLDの製造年度等によって、ゼロ点線量の平均値にかなりの相違があるため、ホウ酸リチウムTLDの測定値から一律に数値（25μSv）を差し引くという現在の測定方法はやや問題がある。

表3－1　ゼロ点線量試験の結果（単位はμSv相当）

ｸﾞﾙｰﾌﾟ	線量計	$^{7}Li_2{}^{11}B_4O_7(Cu)$	$^{6}Li_2{}^{10}B_4O_7(Cu)$	$CaSO_4(Tm)$
A	UD-808P	24.1±15.0 (1500個*)	—	4.3± 5.0 (500個)
B	UD-809P	28.2±12.5 (400個)	39.2±11.2 (1200個)	—
C	UD-808P	6.3± 7.9 (450個)	—	0.7± 1.2 (150個)
	UD-809P	0.8± 2.4 (150個)	0.6± 2.2 (450個)	—

* エレメント数

表3－2　合格基準を満足したもののゼロ点線量試験の結果（単位はμSv相当）

ｸﾞﾙｰﾌﾟ	線量計	$^{7}Li_2{}^{11}B_4O_7(Cu)$	$^{6}Li_2{}^{10}B_4O_7(Cu)$	$CaSO_4(Tm)$
A	UD-808P	22.6±12.9 (1442個*)	—	3.8± 2.2 (485個)
B	UD-809P	26.9±11.1 (383個)	36.3± 9.3 (1020個)	—
C	UD-808P	6.3± 7.9 (150個)	—	0.7± 1.2 (150個)
	UD-809P	0.8± 2.4 (150個)	0.6± 2.2 (450個)	—

* ｴﾚﾒﾝﾄの数(繰り返し検査したものについてはその平均値が合格基準を満たすもの)

（2）ゼロ点線量検査で不合格となったTLDのグロー曲線

ゼロ点線量検査で合格基準を満たさなかったTLDのグロー曲線の代表的な例を図3－3に示す。図のグロー曲線は、グループBのUD-809P線量計のもので合計13回繰り返し検査を実施したがエレメント2～4、すなわち$^{6}Li_2{}^{10}B_4O_7(Cu)$の全てが不合格となったものである。ここでは13回分の平均のグロー曲線をプロットしている。

ゼロ点線量試験に合格したエレメント1（$^{7}Li_2{}^{11}B_4O_7(Cu)$）に比べて、不合格となったエレメント2～4のグロー曲線は、メインドーズ領域（熱蛍光信号の測定領域であり、ここではゼロ点線量と等価である）、ポストドーズ領域共にカウント数が高い。100チャンネル付近にピーク状のものが観測されているが、熱蛍光によるグロー

曲線と比べて立ち上がりがより高温側（後ろ側）へシフトしていること、ランプ点灯による加熱は必ずしもTLDを連続的に昇温させているわけではなく点灯の直前に温度が瞬間的に下がることがあるため、観測されたピークは本来ポストドーズ領域で観測されるべき熱輻射信号のメインドーズ側への漏れ込みと考えられる。

一般にゼロ点線量試験で不合格となるTLDのポストドーズは新規に購入したものよりも大きく、また使用年数が古いものにそのような傾向が強い。この原因としては、TLDの吸湿及び吸湿された水の熱輻射による疑似信号と言われる。

（3）ゼロ点線量の意味するところ

ゼロ点線量の値は、放射線とTLDの相互作用の結果生じる熱蛍光とは関係なく、TLDの測定の都度に得られる疑似信号である。ホウ酸リチウムTLDの場合は、25 μSvを一律に測定値から差し引き補正した値を現在出力しているが、図3－1等に示したようにゼロ点線量の値はある分布を持っているため一律の値を差し引くだけでは十分な補正がなされているとは言えない。そこで、今回の解析で得たゼロ点線量分布が正規分布に従っていると仮定し、TLDの測定値が熱輻射等による疑似信号と言えるレベルを(3.1)式より導出した。

結果を表3－3に示す。ホウ酸リチウム系TLDについては30 μSv未満、硫酸カルシウムTLDについては約10 μSv未満の測定値は、危険率 5%で熱輻射等による疑似信号と言え、従ってこの数値に満たないレベルの測定値には放射線計測上の意味は無い。

$$(\overline{M} + t_n \cdot S) - M_z \qquad \cdots(3.1)$$

$\overline{M}$ ：ゼロ点線量の平均値
S ：ゼロ点線量の標準偏差
t_n ：t 検定における自由度$n-1$のt 値(=1.98)(棄権率0.05、標本数>120)
M_z ：ホウ酸リチウムTLDのゼロ点線量の差引補正値（=25 μSv）、リーダーに設定されている値　（硫酸カルシウムTLDについてはM_z=0)

表3－3　危険率5%でTLD測定値が熱輻射等による疑似信号であると言えるレベル

ｸﾞﾙｰﾌﾟ	線量計	$^{7}Li_2{}^{11}B_4O_7(Cu)$	$^{6}Li_2{}^{10}B_4O_7(Cu)$	$CaSO_4(Tm)$
A	UD-808P	22.9	—	8.1
B	UD-809P	23.7	29.5	—

（単位は μSv相当）

（4）繰り返し試験の意味について

平成8年度に新規に購入したグループCの線量計については、一回のゼロ点線量検査で全て合格した。しかし、購入してから既に10年以上経過しているグループA、Bについては一回の検査では合格しないものが多く、合格基準に達するまで繰り返し検査を行っているのが現状である。

グループA、BのTLD線量計について、繰り返し検査を行った場合の累積合格率を図3－4に示す。グループAのUD-808P線量計の場合は、一回の試験で約80%が合格するが、グループBのUD-809P線量計の場合は初回の検査では約40%しか合格せず、累積合格率を例えば90%まで上げようとすると4回繰り返し検査する必要がある。平成8年度に実施したグループA、Bの平均のゼロ点線量検査の回数はそれぞれ 1.6、2.4回であり、最大の繰り返し検査の回数は20回にも達した。

また、図3－5に、10回以上繰り返しゼロ点線量検査を実施した全ての線量計について、それぞれの測定回における平均ゼロ点線量の変化を示した。図からも明らかなように、繰り返し検査を行ってもゼロ点線量の値はほとんど変化していないことが分かる。従って、ゼロ点線量が合格基準に満たないTLD線量計については、何度も繰り返して検査することは意味が無く、統計変動等によってたまたま合格基準に達したTLDのみを合格とする現在の方法は、むしろゼロ点線量の分布を意図的に歪めているに過ぎず適切な方法とは言えない。

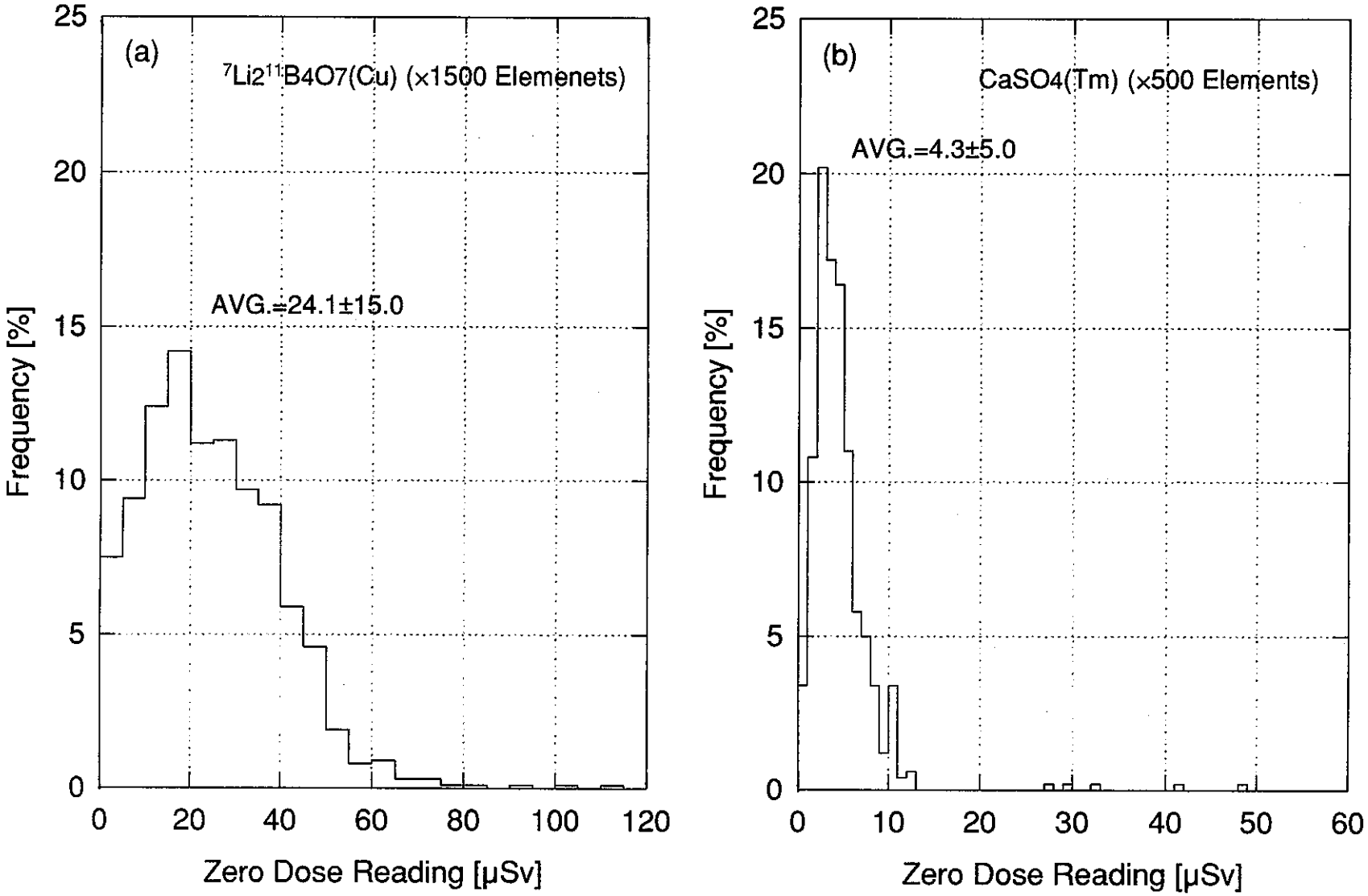

図 3－1　UD-808P線量計のゼロ点線量の分布

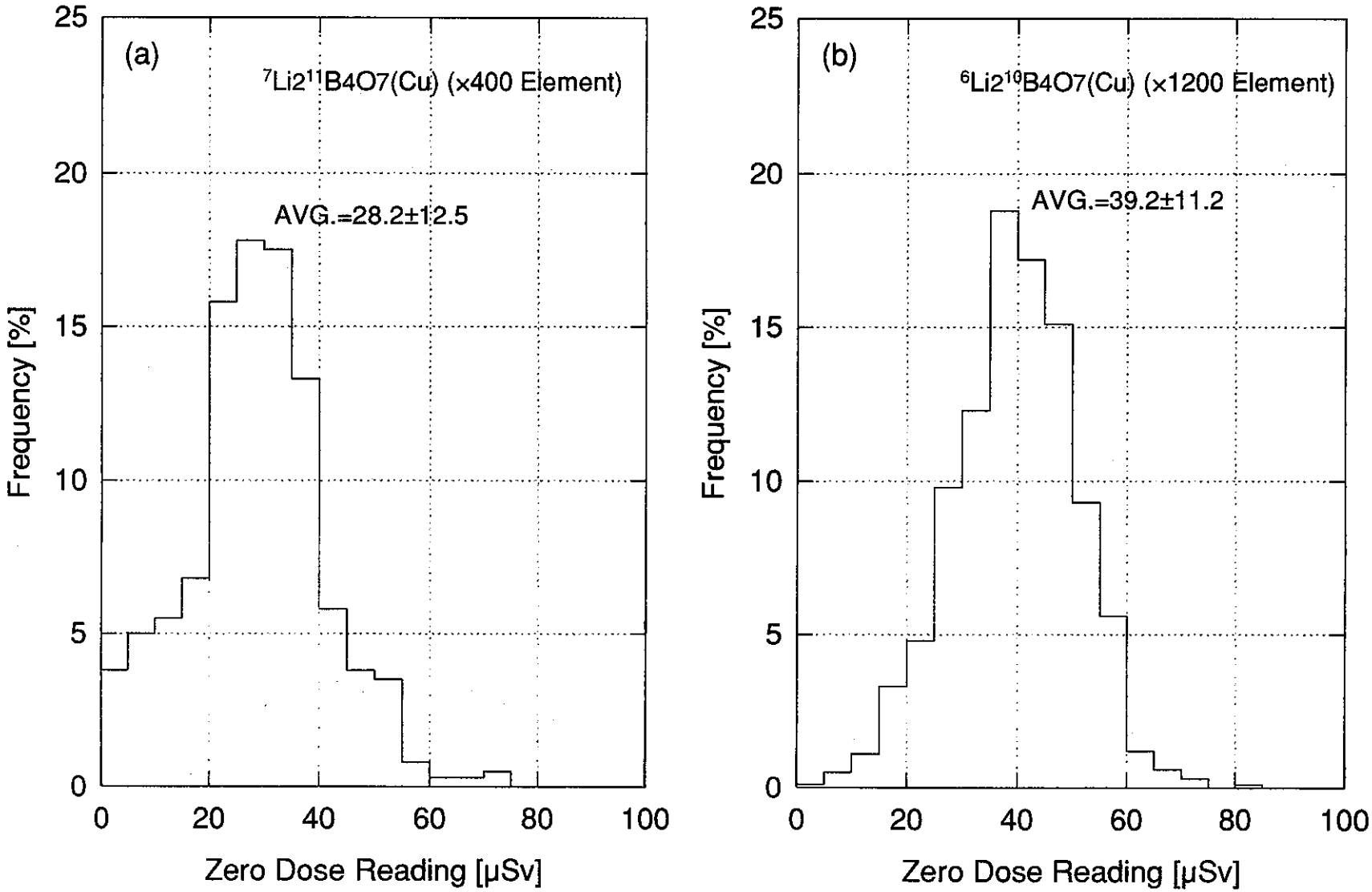

図 3－2　UD-809P線量計のゼロ点線量の分布

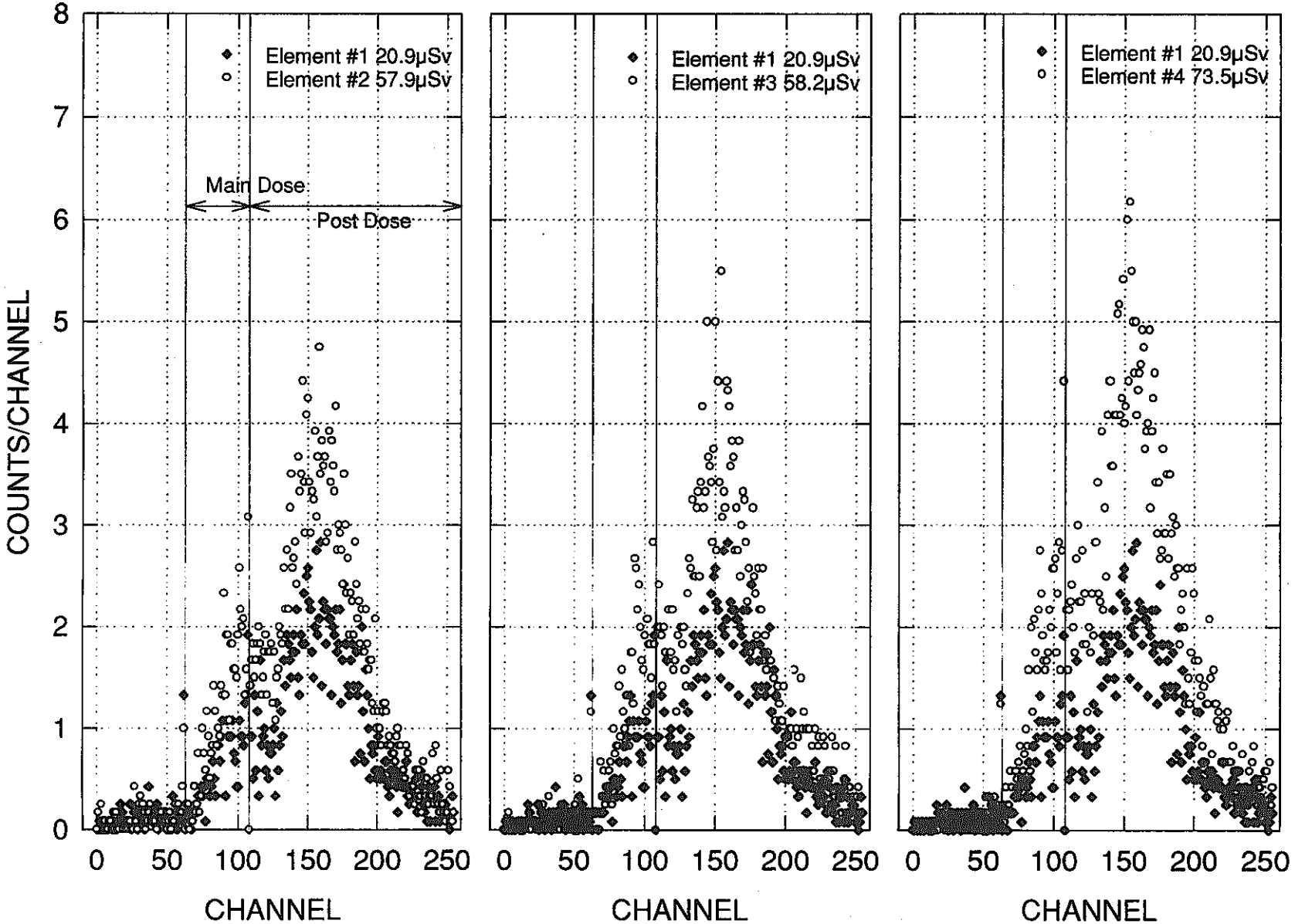

図3－3　ゼロ点線量検査で不合格となったTLDのグロー曲線（例）

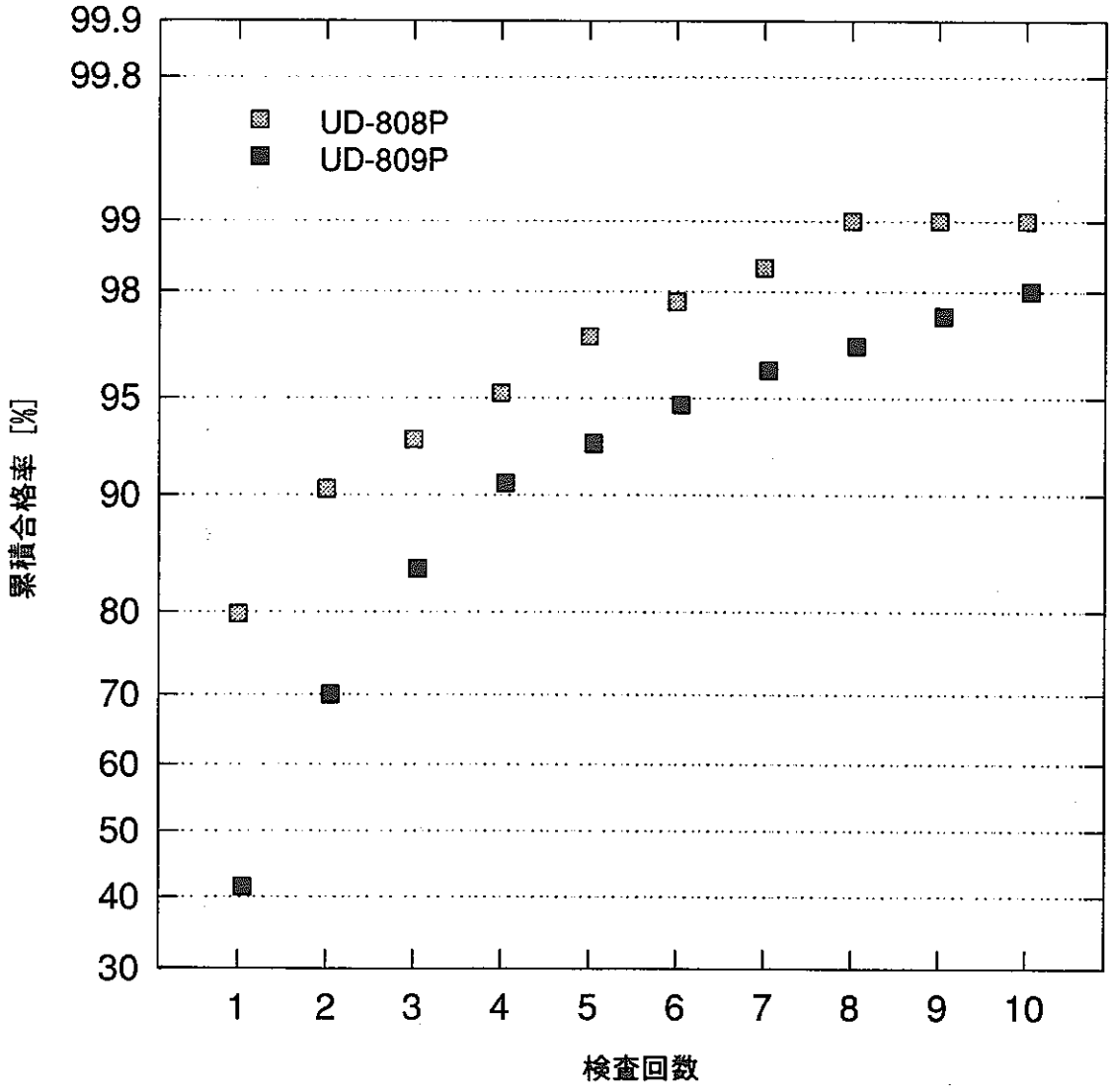

図3－4　ゼロ点線量検査における繰り返し検査回数と累積合格率の関係

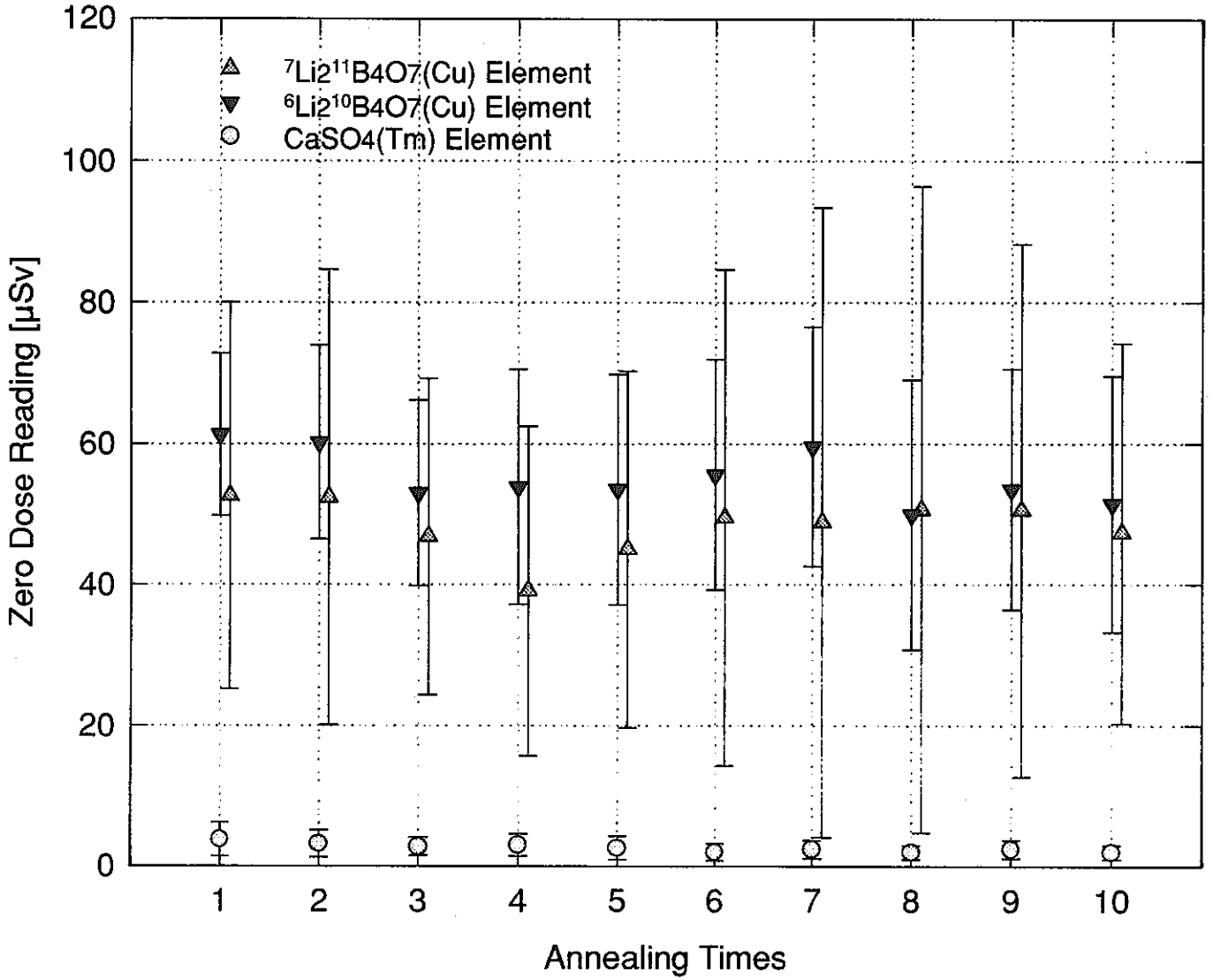

図3－5　ゼロ点線量検査における繰り返し検査回数とゼロ点線量の関係

第４章　ゼロ点線量の製造年度別差引補正の効果

４－１　実験方法

前章で示したように、TLD（特にホウ酸リチウム系TLD）のゼロ点線量は、製造年度によって有意な相違があるため、製造年度に関係なく一定のゼロ点線量補正値を全てのTLDの測定値に適用することは線量評価上問題がある。そこで、全数のTLD線量計を製造年度別に昭和57～59年度頃と平成５年度以降に購入したものとに分割したとき、両者の間のゼロ点線量の平均値に有意な相違があることに着目し、それぞれのグループの平均的なゼロ点線量を差し引くことによって、製造年度に固有のゼロ点線量の大小を適切に補正する方法について検討した。

試験で使用した線量計は、平成８年度に実施したゼロ点線量検査で合格済みの線量計の中から、購入年度が最古のものと最新に近いものとを、UD-808P線量計、UD-809P線量計それぞれ10個無作為に抜きだしたものである。便宜的にここでは下表に示すようにグループ番号A～Dを付番することにする。また、比較参考用として、平成６年度に実施したゼロ点線量検査で不合格となった線量計の中から計40個抜きだし、これらをグループE～Hとした。

表４－１　試験に使用したTLD線量計

Gr.	購入年度	UD-808P	UD-809P	ゼロ点線量検査合格状況
A	昭和57年度	10個	—	合格（平成８年度実施）
B	平成 6年度	10個	—	合格（平成８年度実施）
C	昭和57年度	—	10個	合格（平成８年度実施）
D	平成 6年度	—	10個	合格（平成８年度実施）
E	昭和57年度	10個	—	不合格（平成６年度実施）
F	昭和58年度	10個	—	不合格（平成６年度実施）
G	昭和57年度	—	10個	不合格（平成６年度実施）
H	昭和58年度	—	10個	不合格（平成６年度実施）

また、実験手順は以下の通りである。

(1) グループA～HのTLD線量計を２～３回程度アニールする。

(2) 計測機器校正施設の^{137}Cs γ線自動照射装置を用いて、自由空間中で 100μSv 照射する。

(3) デシケーター中に一昼夜放置し、除湿した後、自動リーダー１号機で測定する。このとき、ゼロ点線量補正値を"0000"に設定した条件で測定する。

(4) 測定後、３回繰り返し測定する。

(5) (4)の測定後、リーダー機種を変更して再度測定する。

(6) (1)～(4)の手順を、自動リーダー２号機を用いて繰り返し行う。

4－2　実験結果

計測機器校正施設の^{137}Cs γ線自動照射装置で100 μSvを照射したTLDの測定値に、次の二種類のゼロ点線量補正法を適用し、効果を比較した。

① 測定値から一律に25 μSvを差し引く（個人被ばく管理における現在の測定法）

② 測定値から、グループ（リーダー）別に計算した平均のゼロ点線量を差し引く

なお、測定値から個々のTLDのゼロ点線量実測値を差し引くという方法も考えられるが、ホウ酸リチウムTLDのゼロ点線量の値は平均30 μSv、カウント数にして20カウント程度でしかないため、統計変動が大きく再現性が良くない。従って、極めてゼロ点線量の大きい特殊なTLD以外には、そのTLDに固有のゼロ点線量実測値を差し引くという方法は適用しにくいと考えられる。

本実験で得られた各グループのTLD測定値（生値）、3回繰り返し測定した場合の平均ゼロ点線量及び①、②の方法で補正した場合の測定値を表4－2（$^{7}Li2^{11}B4O7(Cu)$）、表4－3（$^{6}Li2^{10}B4O7(Cu)$）に示す。また、表の結果をリーダー別に図4－1～図4－3（1号機測定）、図4－4～4－6（2号機測定）に示す。

図4－1に示したUD-808P線量計の$^{7}Li2^{11}B4O7(Cu)$素子の測定結果から分かるように、何ら補正もしていないTLDの測定値の照射量（100 μSv）からの過大評価の傾向は、平均ゼロ点線量の大小とほぼ一致している。①と②の2種類の方法による補正結果を比較すると、②の方法の方ではグループ毎のゼロ点線量の違いが適切に補正されており、グループ毎の線量評価値間の一様性が向上している。こうした傾向は図4－2、図4－3でも見られ、特にゼロ点線量の値が約100 μSv近いグループHの$^{6}Li2^{10}B4O7(Cu)$素子で顕著である。また、①の補正方法は、グループB、Dのようにゼロ点線量が特別小さいTLDに対してはやや過大な補正となる。

一方、2号機についても、基本的には1号機による結果と同様の補正効果が確認されたが、測定値は1号機に比べて全体的に高めの結果となった。これは、1号機と2号機の加熱状態の僅かな差によるものであり、仮に①による補正方法を今後も継続する場合には、月例点検等の際に両リーダーの加熱状態が同程度になるように厳密な調整を行うか、現在、一律に設定しているゼロ点線量差引補正値（25 μSv）をリーダー別に設定し直す必要がある。

なお、1号機で測定したホウ酸リチウムTLDの平均ゼロ点線量の値は、$^{7}Li2^{11}B4O7(Cu)$素子については第3章で解析したものとほぼ同程度の値であったが、$^{6}Li2^{10}B4O7(Cu)$素子についてはやや小さめの値となった。

表4－2　^{137}Cs γ線100μSv照射した場合のホウ酸リチウム($^{7}Li_2{}^{11}B_4O_7(Cu)$)TLDのゼロ点線量差引補正結果

Gr.	線量計	エレメント数	リーダー1号機で測定[μSv]				リーダー2号機で測定[μSv]			
			測定値	平均ゼロ点線量値	補正値①	補正値②	測定値	平均ゼロ点線量値	補正値①	補正値②
A	UD-808P	30	145±24	18±11	120±24	127±24	151±19	29±14	126±19	122±19
B	UD-808P	30	108±15	3± 4	83±15	105±15	120±20	9± 9	95±20	111±20
C	UD-809P	10	129±14	12± 8	104±14	117±14	155±20	29±11	130±20	126±20
D	UD-809P	10	102±12	2± 3	77±19	99±19	134±28	9± 8	109±28	126±28
	グループ間平均		121±20	9± 8	112±12	112±12	140±16	19±12	115±16	121± 7
E	UD-808P	30	163±23	45±24	138±23	118±23	190±39	69±32	165±39	121±39
F	UD-808P	30	145±23	32±17	120±23	113±23	170±31	52±24	124±41	101±31
G	UD-809P	10	143±16	29±21	119±16	114±16	172±23	47±24	147±23	125±23
H	UD-809P	10	157±19	23± 8	132±19	134±19	182±31	43±17	157±31	139±31
	グループ間平均		152±10	32± 9	127± 9	120±10	179± 9	53±11	148±18	122±16

表4－3　^{137}Cs γ線100μSv照射した場合のホウ酸リチウム($^{6}Li_2{}^{10}B_4O_7(Cu)$)TLDのゼロ点線量差引補正結果

Gr.	線量計	エレメント数	リーダー1号機で測定[μSv]				リーダー2号機で測定[μSv]			
			測定値	平均ゼロ点線量値	補正値①	補正値②	測定値	平均ゼロ点線量値	補正値①	補正値②
C	UD-809P	30	137±21	23±11	112±21	114±21	166±23	45±16	141±23	121±23
D	UD-809P	30	106±12	3± 5	81±12	103±12	123±21	8± 8	98±21	115±21
	グループ間平均		122±22	13±14	97±22	109± 8	145±30	27±26	120±30	118± 4
G	UD-809P	30	165±20	54±15	140±20	111±20	195±32	78±21	170±32	117±32
H	UD-809P	30	216±20	88±17	191±20	120±20	265±30	132±24	240±30	134±30
	グループ間平均		190±36	71±24	167±36	116± 6	230±50	105±38	205±50	126±12

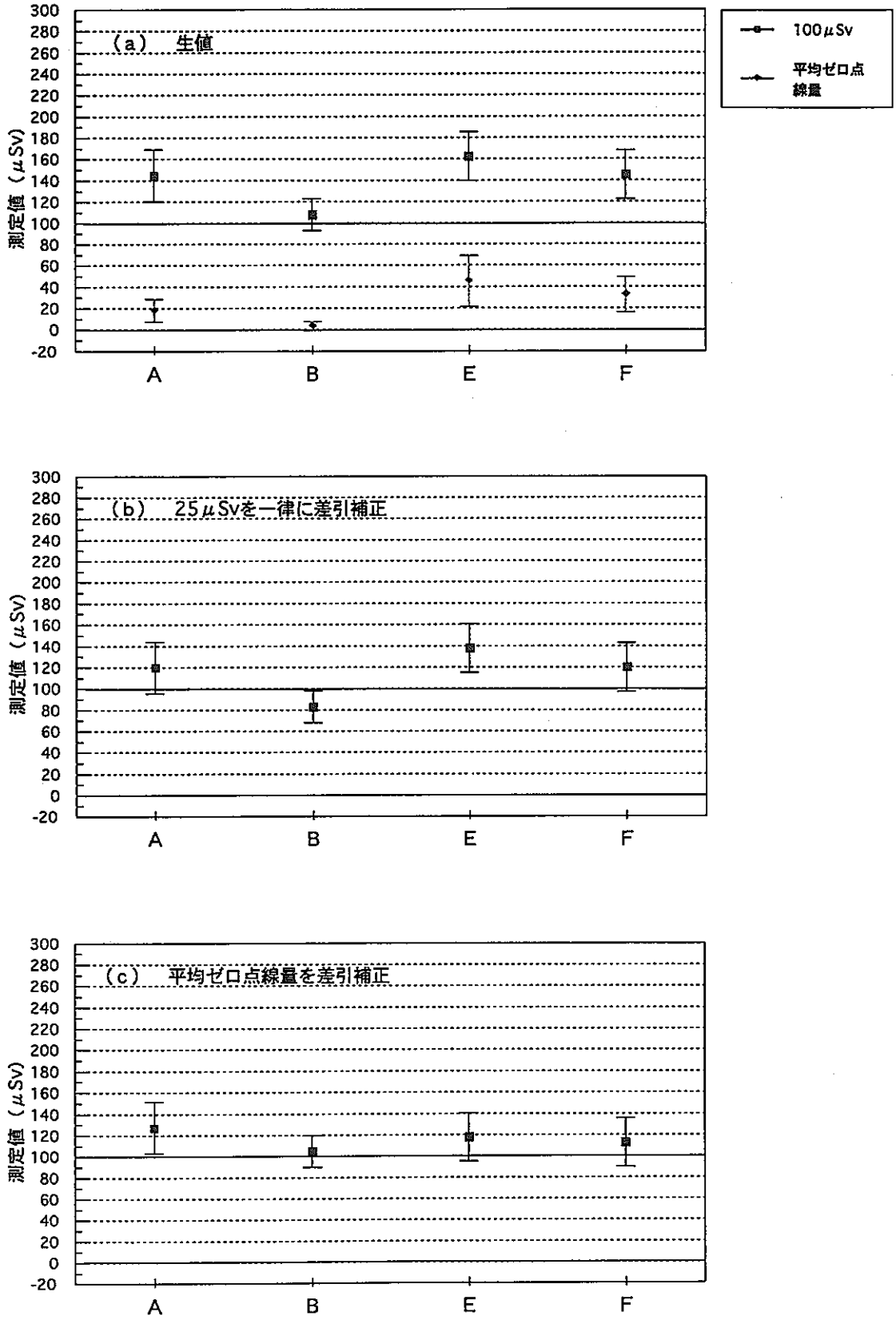

図4-1 UD-808P線量計（^{7} Li2^{11}B4O7(Cu)）に^{137}Csγ線100μSv照射した場合のゼロ点線量差引補正効果（1号機で測定）

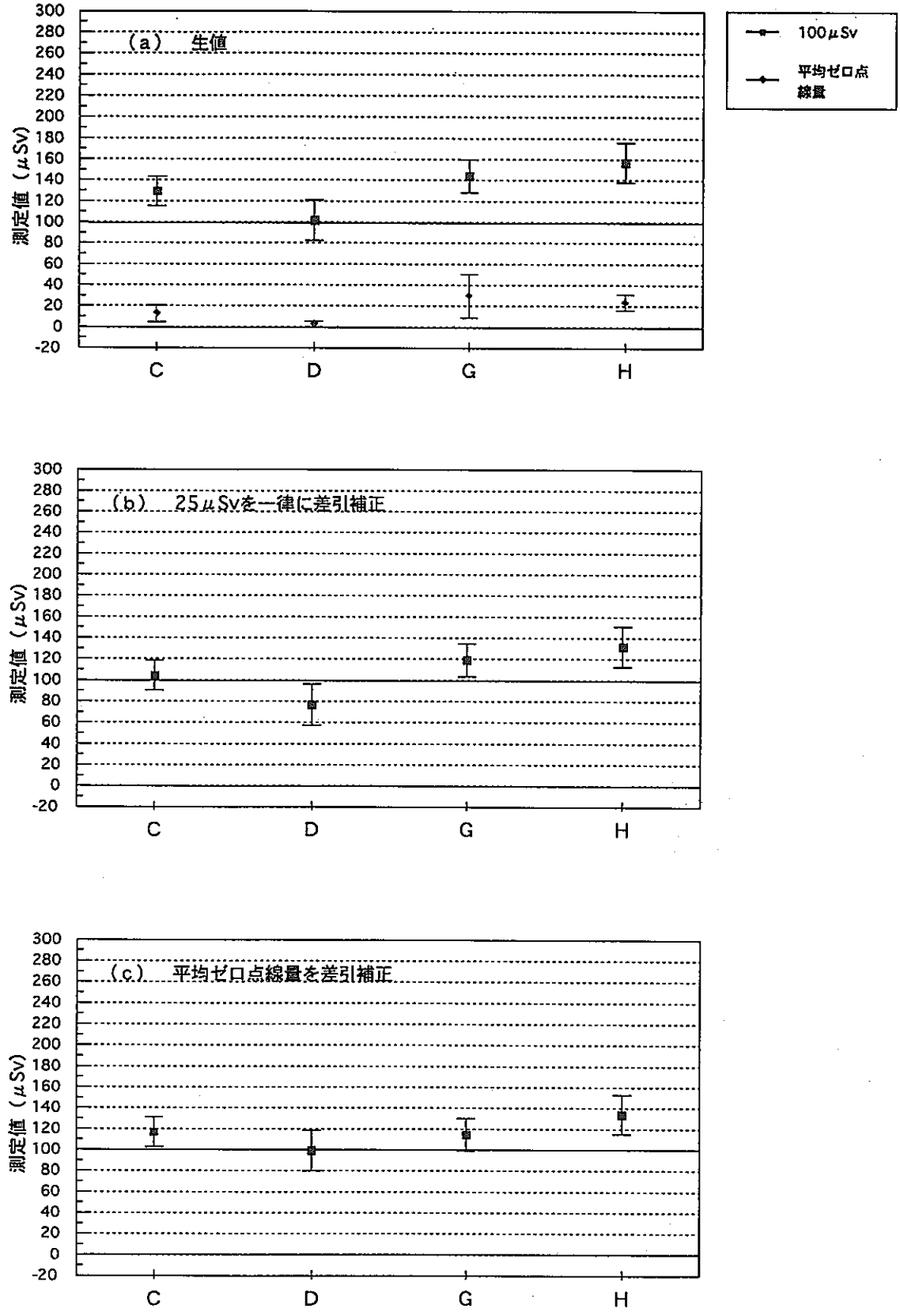

図4-2 UD-809P線量計（^{7}Li2^{11}B4O7(Cu)）に^{137}Csγ線100μSv照射した場合のゼロ点線量差引補正効果（1号機で測定）

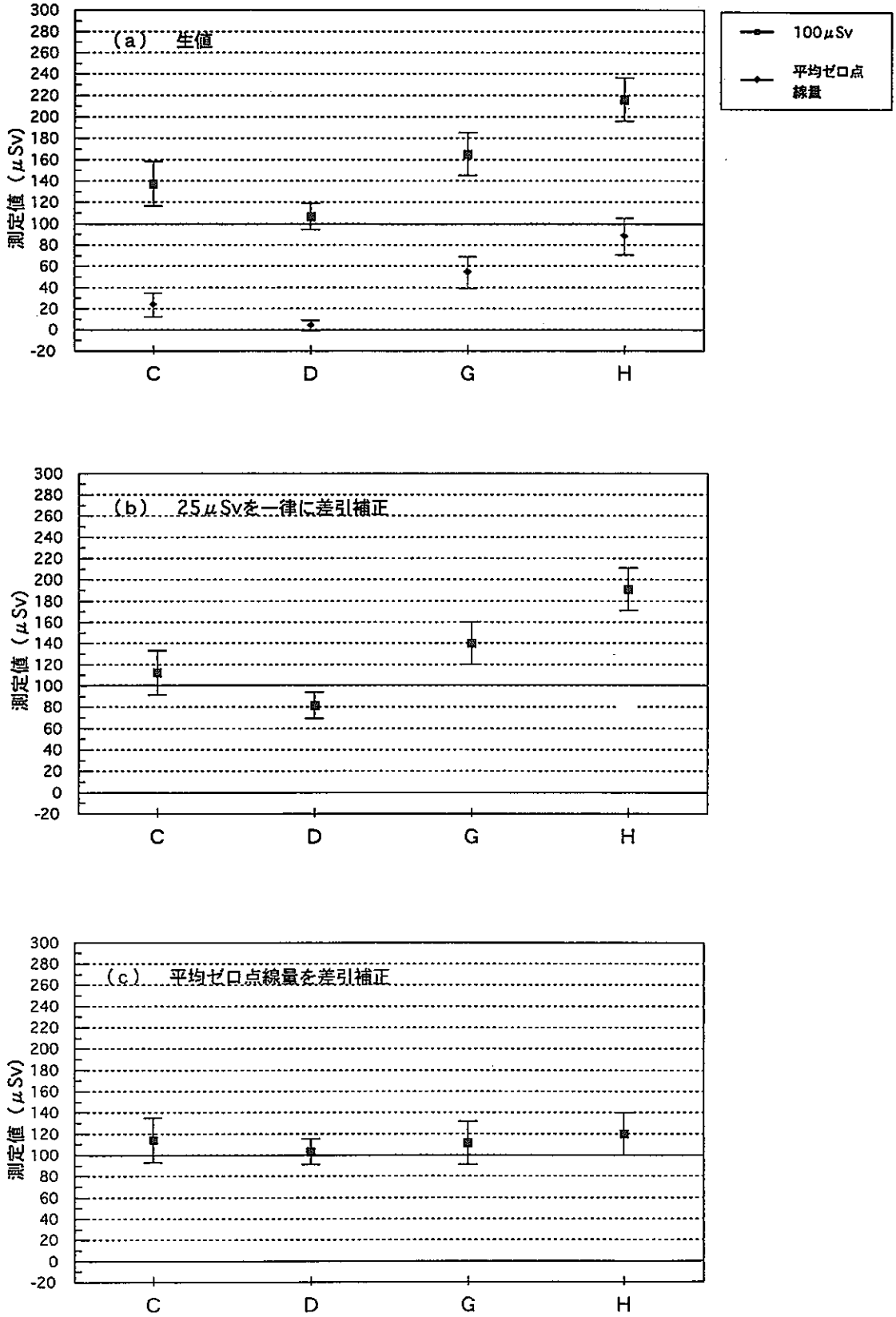

図4-3　UD-809P線量計（^{6} Li2^{10}B4O7(Cu)）に^{137}Csγ線100μSv照射した場合のゼロ点線量差引補正効果（1号機で測定）

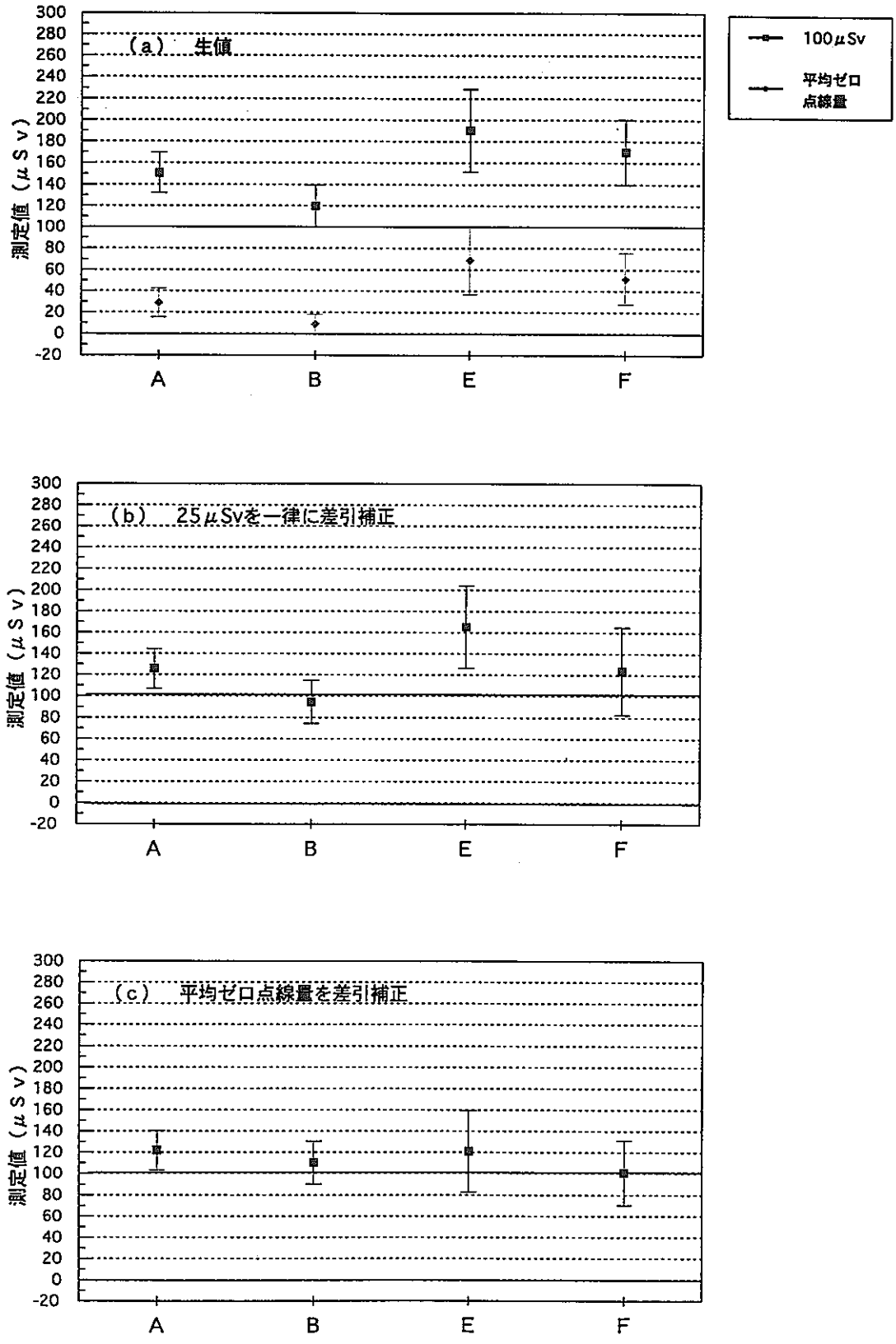

図4-4 UD-808P線量計（^{7} Li2^{11}B4O7(Cu)）に^{137}Csγ線100μSv照射した場合のゼロ点線量差引補正効果（２号機で測定）

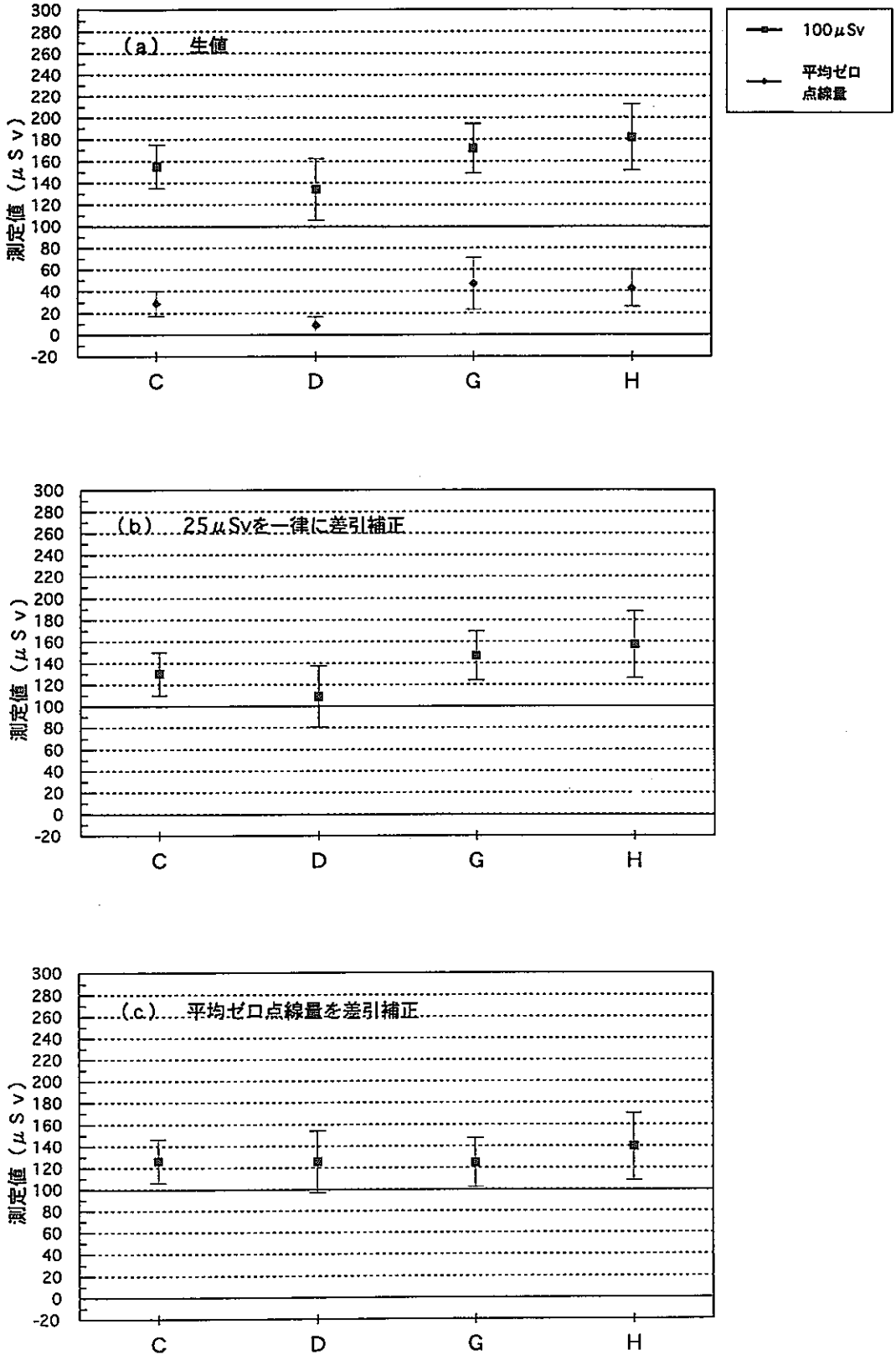

図4-5 UD-809P線量計（^{7} Li2^{11}B4O7(Cu)）に^{137}Csγ線100μSv照射した場合のゼロ点線量差引補正効果（２号機で測定）

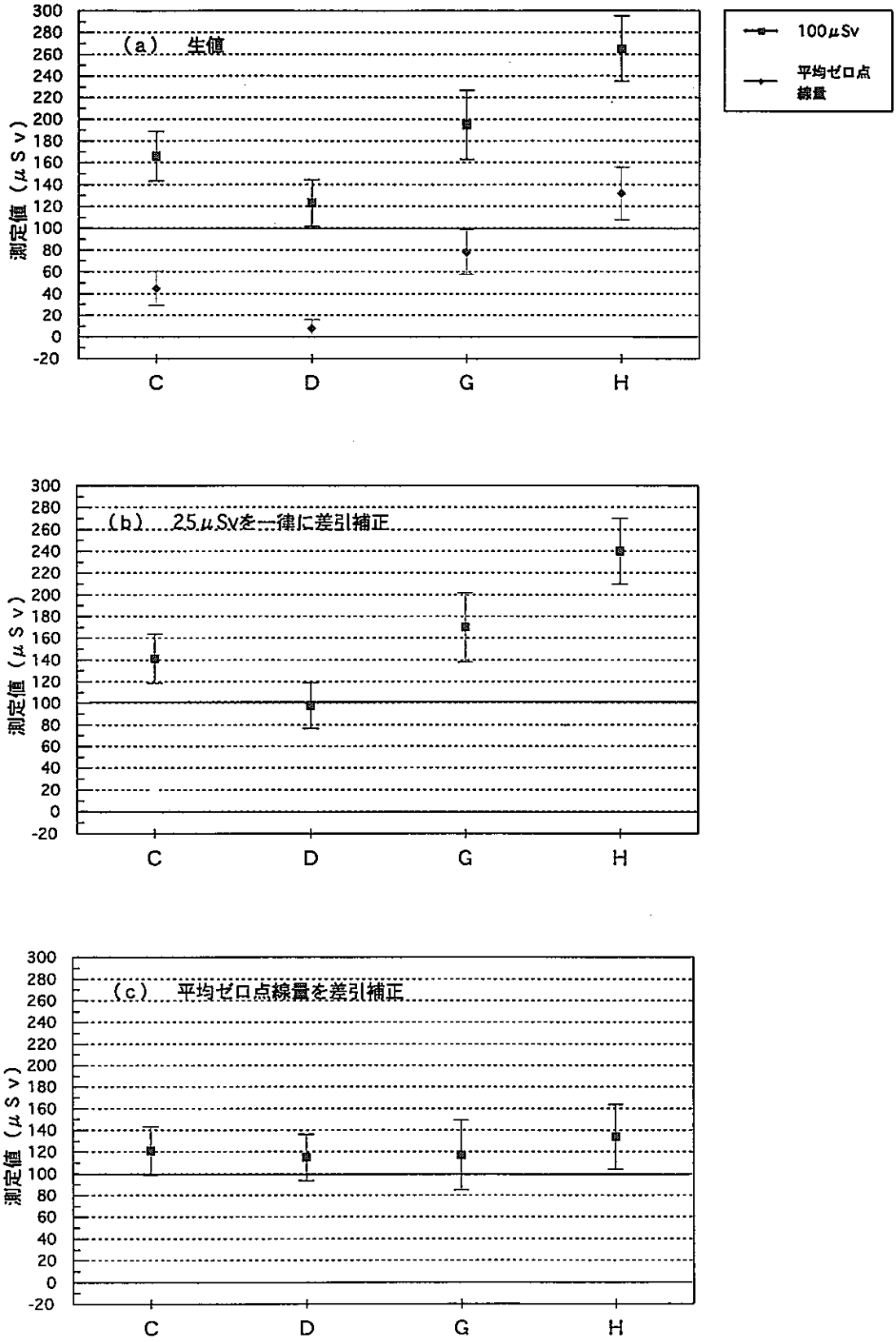

図4-6 UD-809P線量計（^{6} Li2^{10}B4O7(Cu)）に^{137}Csγ線100μSv照射した場合のゼロ点線量差引補正効果（２号機で測定）

4－3　ゼロ点線量のリーダー機種依存性

1号機と2号機で測定したホウ酸リチウムTLDのメインドーズ、ポストドーズを比較した結果を、それぞれ図4-7、図4-8に示す。ここで言うメインドーズは、前述したようにゼロ点線量と等価である。

図の結果からも明らかなように、2号機で測定されたメインドーズ、ポストドーズの値は、1号機での測定に比べて1.5～1.6倍程度高いことが判明した。月例点検等でリーダーの加熱調整を行う際に使用しているTLDは、グループBやDのように元来ゼロ点線量の極めて小さなTLDであるため、それらのゼロ点線量のリーダー間での有意な違いが見えない。そのため両リーダー間での微妙な加熱状態の違いがこれまで定量できていなかった。

リーダー1号機と2号機とでゼロ点線量のレベルに違いがあるということは、①と②のどちらのゼロ点線量補正法を適用するにせよ両リーダーで補正する値を別々に設定しておく必要が生じるため、可能であれば両リーダーのゼロ点線量のレベルを同程度に調整しておくことが望ましい。従って、月例点検等でリーダーの加熱調整を行う際には、従来のようにある一種類のTLDでゼロ点線量のレベルを調べるのではなく、ゼロ点線量のレベルの異なる幾つかのグループのTLD、例えばグループBのようにゼロ点線量の値が極めて小さいもの、グループAのようにゼロ点線量の値が標準的なもの、グループGやHのようにゼロ点線量の値が極めて大きいもの等を利用して、複数リーダー間のゼロ点線量の値の整合を取るといった措置が必要である。

また、図4-9に同一のリーダーで測定した場合の、メインドーズとポストドーズの関係を調べた結果を示す。両リーダー共に、ポストドーズはメインドーズのほぼ7倍[注4)]であり比例性も良い。これまでの定期品質管理検査におけるゼロ点線量の検査では、メインドーズのみを検査の対象とし基準を設定していたが、メインドーズとポストドーズの比例性が良いこと、メインドーズよりもポストドーズの方が値が大きく統計変動が小さいこと、また両者の相互関係はリーダーの加熱状態に直接関係する情報であること等の観点から、ゼロ点線量の検査項目として今後はポストドーズの値を追加することを検討すべきである。

注4）熱輻射による信号のみの場合。放射線との相互作用による熱蛍光信号の場合には、ポストドーズはメインドーズの約0.3～0.4倍（ホウ酸リチウム）という結果がこれまでに得られている[7]。

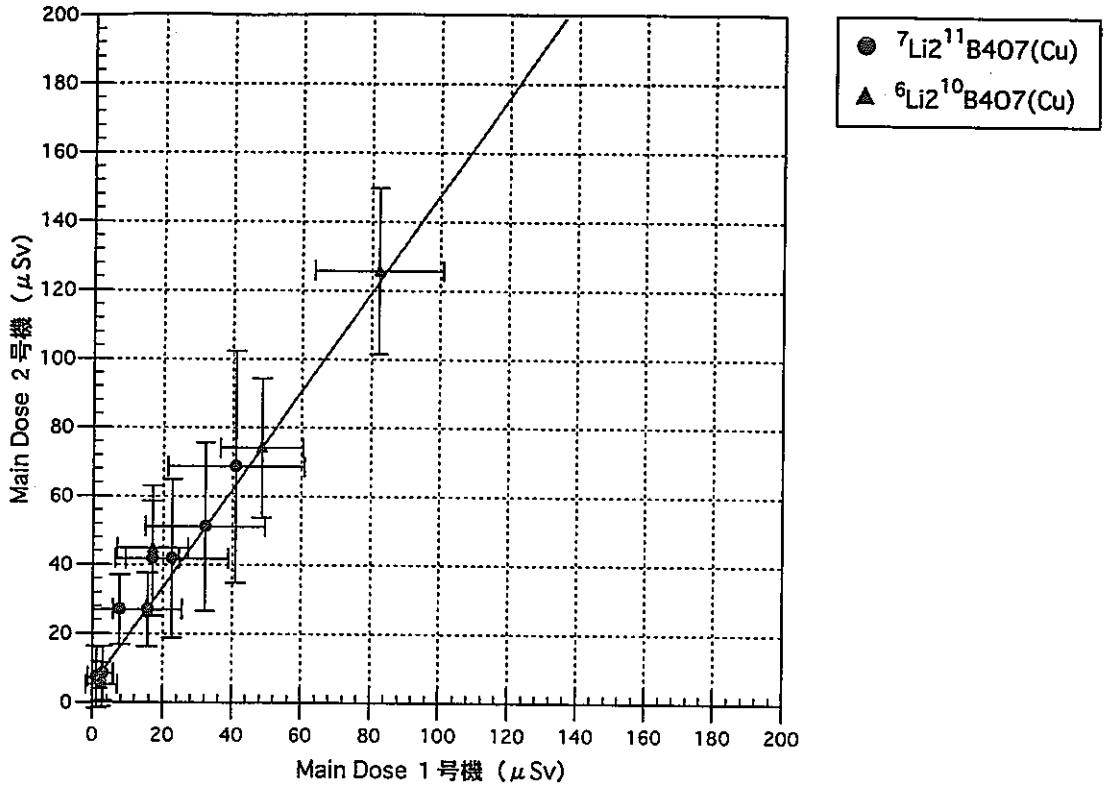

図4-7　リーダー1.2号機のメインドーズ（ゼロ点線量）の比較

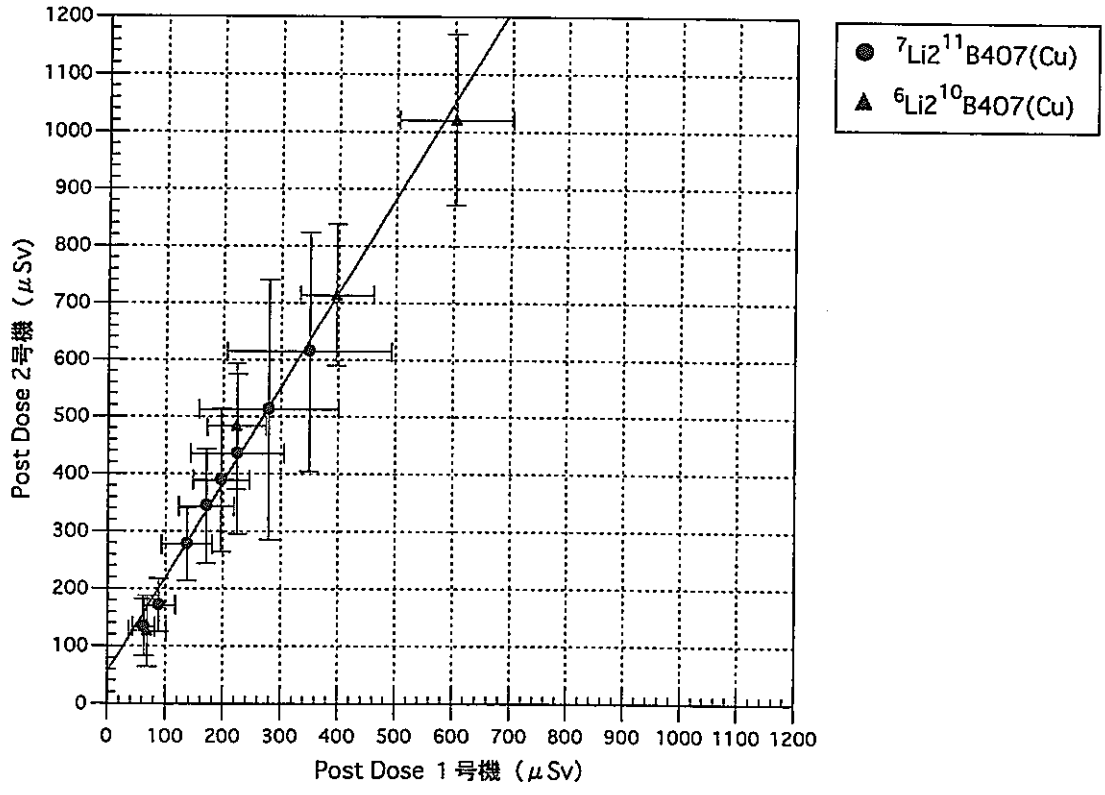

図4-8　リーダー1.2号機のポストドーズの比較

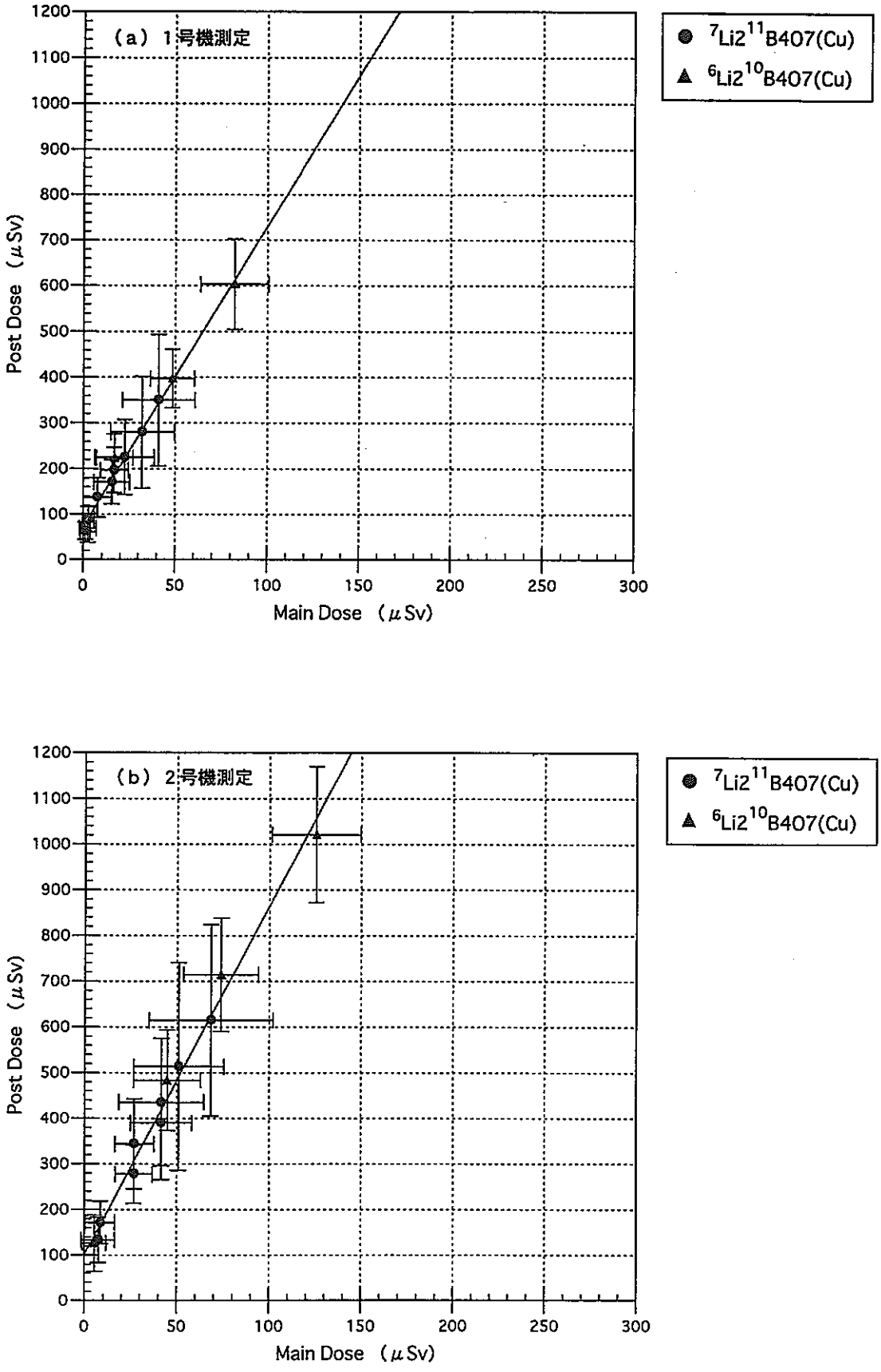

図4-9　メインドーズ（ゼロ点線量）とポストドーズの比較

第5章　まとめ

平成8年度に実施したTLDのゼロ点線量検査の結果を分析するとともに、ゼロ点線量の個体差を補正する方法について検討した結果、次のような結論が得られた。

(1) 平成8年度に実施したTLDバッジ用のTLD線量計のゼロ点線量検査の結果の一部（保有総数の約一割分）を基に、購入年度毎にゼロ点線量の平均値、分布の幅、合格割合等を詳細に調べた。

その結果、TLDバッジの実運用を開始した昭和57～59年度に購入したTLD線量計の平均ゼロ点線量の値は、$^{7}Li_2{}^{11}B_4O_7(Cu)$については約25μSv相当、$^{6}Li_2{}^{10}B_4O_7(Cu)$については約40μSv相当であった。一方、平成8年度に新規に購入したTLD線量計については、$^{7}Li_2{}^{11}B_4O_7(Cu)$、$^{6}Li_2{}^{10}B_4O_7(Cu)$ともに10μSv相当に満たない程度であった。従って、現在、設定しているゼロ点線量の差引補正値（25μSv相当）は、導入時期の古い線量計の $^{7}Li_2{}^{11}B_4O_7(Cu)$についてはほぼ適正な値であるが、同時期の$^{6}Li_2{}^{10}B_4O_7(Cu)$についてはやや過小、新規購入のものについてはやや過大な補正をしていることが分かった。

(2) ゼロ点線量のレベルの異なる幾つかのTLDを利用し、低線量域での線量評価精度にゼロ点線量の値がどのように影響するかを実験的に調べ、適切なその補正方法について検討した。その結果、固有のゼロ点線量のレベルに応じた値を差し引くことで、製造年度等に関係なく、一様な線量評価値が得られることが分かった。この手法は、ゼロ点線量の値が基準内のTLDだけでなく、極端にゼロ点線量の値が大きく現在の基準では不合格となるようなTLDについても適用可能である。

(3) リーダーの加熱調整を行う際には、従来のようにある一種類のTLDを利用するのではなく、ゼロ点線量のレベルの異なる幾つかのグループのTLDを利用して、複数リーダー間のゼロ点線量の値の整合を取る必要がある。この方法は、加熱ランプを交換した場合等に適用していく。

(4) 現在使用しているTLDの品質管理データ処理用ソフトウェアは、ゼロ点線量検査等のデータを処理できるような設計になっていない。そのため現在開発を進めている「TLD線量評価支援システム（仮称）」に、こうした機能を盛り込む予定である。

なお、本報告書は、平成9年度上半期安全管理部小集団活動の成果をまとめたものである。

参考文献

[1] 野村保、二之宮和重、小松崎賢治、江尻明、磯野矢一、高安哲也
「TLD及びTLD読取り装置の品質管理マニュアル」、PNC PN8520 93-002、1993

[2] 辻村憲雄、江尻明、小松崎賢治、百瀬琢麿、篠原邦彦
「定期品質管理試験における基準外TLD数の年度別推移と分析」、
PNC PN8410 97-256、1997

[3] 辻村憲雄、百瀬琢麿、篠原邦彦、空増昇
「TLDグロー曲線解析システムの開発と整備（Ⅰ） ― システムの基本構成とグロー曲線測定例 ―」、PNC ZN8410 96-376、1996

[4] JIS Z4320-1995、「熱ルミネセンス線量計測装置」

[5] B.Burgkhardt and E.Piesh
"A Computer Assisted Evaluation Technique for Albedo Thermoluminescence Dosimeters", Radiat.Prot.Dosim., 2, 4, 221-230, 1982

[6] 辻村憲雄、小松崎賢治、百瀬琢麿、篠原邦彦
「TLD自動リーダーの月例点検記録（平成８年度）」、資料登録予定

[7] 辻村憲雄、森田卓、小松崎賢治、百瀬琢麿、篠原邦彦
「TLD測定値の信頼性の向上に関する検討（Ⅲ） ― 感度補正係数データセットの作成と適用試験 ―」、PNC PN8410 97-268、1997

[8] 辻村憲雄、江尻明、百瀬琢麿、篠原邦彦
「TLD測定値の信頼性の向上に関する検討（Ⅰ） ― TLDの異常測定値例とそのパターン解析 ―」、PNC PN8410 95-378、1995